

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 09231701 A

(43) Date of publication of application: 05.09.97

(51) Int. Cl

G11B 21/10

(21) Application number: 08033342

(71) Applicant: HITACHI LTD

(22) Date of filing: 21.02.96

(72) Inventor: NAKAGAWA SHINSUKE
HAMADA YOSUKE

(54) HEAD POSITIONING CONTROL METHOD

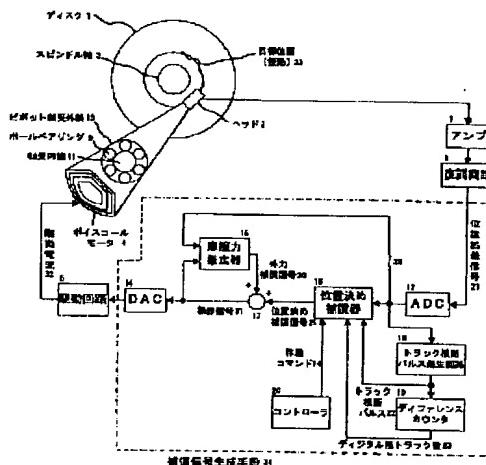
a drop in the low pass gain attributed to the viscoelasticity of friction.

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a head positioning control method which achieves higher positioning accuracy by performing a computation of a force estimation observer derived from a model of friction force using information pertaining to a head position and a head drive signal to enable compensation for the friction force.

SOLUTION: This magnetic disc device detects information pertaining to the position of a head 2 from a servo position recorded on a disc 1 and outputs the information to a compensation signal generation means 34 as position error signal 21. The compensation signal generation means 34 is constituted of a positioning compensator 16 and a friction estimating device 15 and the like to perform a computation of a force estimation observer derived from a model of a friction force using the position error signal 21 and a head drive signal. An operation signal 31 obtained by the computation is outputted to a drive circuit 5 and the head 2 is driven through a voice coil motor 4 to be positioned at a specified point. The compensation for the friction force is accomplished by this method thereby compensating for

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-231701

(43)公開日 平成9年(1997)9月5日

(51)Int.Cl.⁶
G 11 B 21/10

識別記号 庁内整理番号

F I
G 11 B 21/10

技術表示箇所
R

審査請求 未請求 請求項の数18 O.L. (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平8-33342

(22)出願日 平成8年(1996)2月21日

(71)出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(72)発明者 中川 真介
茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日
立製作所機械研究所内
(72)発明者 浜田 洋介
神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会
社日立製作所ストレージシステム事業部内
(74)代理人 弁理士 小川 勝男

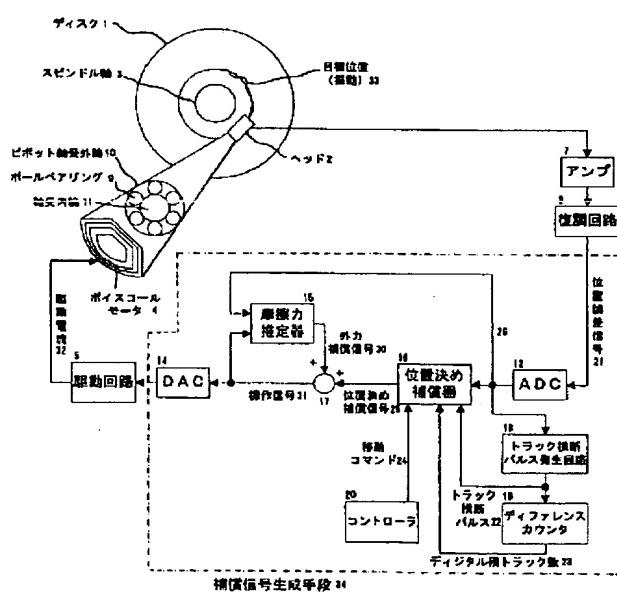
(54)【発明の名称】 ヘッド位置決め制御方法

(57)【要約】

【課題】磁気ディスク装置では、軸受部での摩擦の発生は微小位置決め時における低域ゲインの不足による位置決め精度の低下を引き起こす。したがって高記録密度磁気ディスク装置の実現のためには摩擦力の補償制御が必要となる。

【解決手段】ディスク1に記録されたサーボ信号から第1のヘッド2の位置に関する情報を検出し、ヘッド2の位置に関する情報とヘッド駆動信号を用いて、摩擦力のモデルから導かれる力推定オブザーバの演算を行い、摩擦力の補償を行い摩擦の粘弾性特性による低域ゲインの低下を補償する。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】ディスクにあらかじめ記録してある位置情報から、ヘッドにより目標位置と前記ヘッドの位置に関する位置誤差信号を検出し、検出された前記位置誤差信号を位置決め補償手段に入力して位置決め補償のための第1の信号を生成し、前記第1の信号に基づいてヘッド位置決め機構を駆動するための第2の信号を生成し、前記第2の信号によってヘッドが前記目標位置へ移動されるように制御するヘッド位置決め制御方法において、前記位置誤差信号に対してハイパスフィルタ演算を行うことにより求めた信号と前記第2の信号に対してローパスフィルタ演算を行うことにより求めた信号を加算することによりヘッド位置決め機構の摩擦力を補償する摩擦力補償信号を求め、前記摩擦力補償信号を前記第1の信号に加算することにより、前記第2の信号を生成することを特徴とするヘッド位置決め制御方法。

【請求項 2】請求項 1において、前記ヘッド位置決め機構の摩擦力をヘッド位置に比例する力の比例係数、速度に比例する力の比例係数、ヘッド駆動部の質量または慣性モーメントとして、前記位置誤差信号を前記比例係数と慣性モーメントを含む係数からなるハイパスフィルタに入力して求めた出力信号と、前記第2の信号を前記比例係数と慣性モーメントを含む係数からなるローパスフィルタに入力して求めた信号を加算することによりヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号を求め、前記摩擦力補償信号を前記第1の信号に加算することにより、前記第2の信号を生成するヘッド位置決め制御方法。

【請求項 3】ディスクにあらかじめ記録してある位置情報から、ヘッドにより目標位置とヘッドの位置に関する位置誤差信号を検出し、前記検出された位置誤差信号を位置決め補償手段に入力して位置決め補償のための第1の信号を生成し、前記第1の信号に基づいてヘッド位置決め機構を駆動するための第2の信号を生成し、前記第2の信号によってヘッドが前記目標位置へ移動されるように制御するヘッド位置決め制御方法において、前記位置誤差信号に対してハイパスフィルタ演算を行うことにより得た信号と、第2の信号に対してローパスフィルタ演算を行うことにより得た信号を加算することにより第1のヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号を求め、前記信号を前記第1の信号に加算することにより第2の信号を生成し、前記位置誤差信号から第2のヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号を求め、前記第2の摩擦力補償信号を前記生成した第2の信号に加算することにより第2の信号を補正することを特徴とするヘッド位置決め制御方法。

【請求項 4】請求項 3に記載の摩擦力補償信号がヘッド位置決め機構の軸受部で発生する転がり出し摩擦力を補償する信号である位置決め制御方法。

【請求項 5】ディスクにあらかじめ記録してある位置情報から、ヘッドにより目標位置とヘッドの位置に関する

位置誤差信号を検出し、前記検出された位置誤差信号を位置決め補償手段に入力して位置決め補償のための第1の信号を生成し、前記第1の信号に基づいてヘッド位置決め機構を駆動するための第2の信号を生成し、前記第2の信号によってヘッドが前記目標位置へ移動されるように制御するヘッド位置決め制御方法において、前記位置誤差信号に対してハイパスフィルタ演算を行うことにより得た信号と第2の信号に対してローパスフィルタ演算を行うことにより得た信号を加算することにより第1のヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号を求め、前記信号を前記第1の信号に加算することにより第2の信号を生成し、前記位置誤差信号を微分して得られる速度信号から第2のヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号を求め、前記第2の摩擦力補償信号を前記生成された第2の信号に加算することにより第2の信号を補正することを特徴とするヘッド位置決め制御方法。

【請求項 6】請求項 5に記載の第2の摩擦力補償信号がヘッドとディスク間、またはヘッド位置決め機構等で発生するクーロン摩擦力を補償する信号である位置決め制御方法。

【請求項 7】ディスクにあらかじめ記録してある位置情報から、ヘッドにより目標位置とヘッドの位置に関する位置誤差信号を検出し、前記検出された位置誤差信号を位置決め補償手段に入力して位置決め補償のための第1の信号を生成し、前記第1の信号に基づいてヘッド位置決め機構を駆動するための第2の信号を生成し、前記第2の信号によってヘッドが前記目標位置へ移動されるように制御するヘッド位置決め制御方法において、前記位置誤差信号に対してハイパスフィルタ演算を行うことにより得た信号と、第2の信号に対してローパスフィルタ演算を行うことにより得た信号を加算することにより第1のヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号を求め、前記信号を前記第1の信号に加算することにより第2の信号を生成し、前記位置誤差信号と位置誤差信号を微分して得られる速度信号から第2のヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号を求め、前記第2の摩擦力補償信号を前記生成された第2の信号に加算することにより第2の信号を補正することを特徴とするヘッド位置決め制御方法。

【請求項 8】請求項 7に記載の第2の摩擦力補償信号が、位置に比例するばね力と速度に比例する粘性摩擦力の和である摩擦力を補償する信号であることを特徴とする位置決め制御方法。

【請求項 9】ディスクにあらかじめ記録してある位置情報から、ヘッドにより目標位置とヘッドの位置に関する位置誤差信号を検出する位置誤差信号検出手段と、前記検出された位置誤差信号を位置決め補償手段に入力して位置決め補償のための第1の信号を生成し、前記第1の信号に基づいてヘッド位置決め機構を駆動するための第2の信号を生成する駆動信号生成手段を備え、前記第2の信号によってヘッドが前記目標位置へ移動されるよう

に制御するヘッド位置決め制御装置において、前記位置誤差信号にハイパスフィルタ演算を行う演算手段と、第2の信号にローパスフィルタ演算を行う演算手段と、前記ハイパスフィルタ演算により得られた信号と前記ローパスフィルタ演算により得られた信号を加算する加算手段と、前記加算手段の出力であるヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号を前記第1の信号に加算する加算手段と、前記加算手段の出力から前記第2の信号を生成する駆動信号生成手段を有することを特徴とするヘッド位置決め制御装置。

【請求項10】請求項9において、前記ヘッド位置決め機構の摩擦力を前記位置誤差信号を入力としてヘッド位置に比例する力の比例係数、速度に比例する力の比例係数、ヘッド駆動部の質量または慣性モーメントを含む係数からなるハイパスフィルタの演算を行う演算手段と、前記第2の信号を入力として前記係数からなるローパスフィルタの演算を行う演算手段と、前記ハイパスフィルタ演算により得られた信号と前記ローパスフィルタ演算により得られた信号を加算する加算手段と、前記加算手段の出力であるヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号を前記第1の信号に加算する加算手段と、前記加算手段の出力から前記第2の信号を生成する駆動信号生成手段を有することを特徴とするヘッド位置決め制御装置。

【請求項11】ディスクにあらかじめ記録してある位置情報から、ヘッドにより目標位置とヘッドの位置に関する位置誤差信号を検出する位置誤差信号検出手段と、前記検出された位置誤差信号を位置決め補償手段に入力して位置決め補償のための第1の信号を生成し、前記第1の信号に基づいてヘッド位置決め機構を駆動するための第2の信号を生成する駆動信号生成手段を備え、前記第2の信号によってヘッドが前記目標位置へ移動されるように制御するヘッド位置決め制御装置において、前記位置誤差信号を入力としてハイパスフィルタの演算を行う演算手段と第2の信号を入力としてローパスフィルタの演算を行う演算手段と、前記ハイパスフィルタの演算から得られた信号と前記ローパスフィルタの演算から得られた信号を加算する加算手段と、前記加算結果を第1のヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号とし、前記信号を前記第1の信号に加算する加算手段と、前記加算信号として、前記位置誤差信号から第2のヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号を求める第2の摩擦力補償信号生成手段と、前記第2の摩擦力補償信号を前記加算信号に加算する加算手段と、前記加算手段の出力により第2の信号を生成する駆動信号生成手段を有することを特徴とするヘッド位置決め制御装置。

【請求項12】請求項11に記載の第2の摩擦力補償信号生成手段から得られるヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号がヘッド位置決め機構の軸受部で発生する転がり出し摩擦力を補償する信号である第2の摩擦力補償手段を備えた位置決め制御装置。

【請求項13】ディスクにあらかじめ記録してある位置情報から、ヘッドにより目標位置とヘッドの位置に関する位置誤差信号を検出する位置誤差信号検出手段と、前記検出された位置誤差信号を位置決め補償手段に入力して位置決め補償のための第1の信号を生成し、前記第1の信号に基づいてヘッド位置決め機構を駆動するための第2の信号を生成する駆動信号生成手段を備え、前記第2の信号によってヘッドが前記目標位置へ移動されるように制御するヘッド位置決め制御装置において、前記位置誤差信号を入力としてハイパスフィルタの演算を行う演算手段と第2の信号を入力としてローパスフィルタの演算を行う演算手段と、前記ハイパスフィルタの演算から得られた信号と前記ローパスフィルタの演算から得られた信号を加算する加算手段と、前記加算結果を第1のヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号とし、前記摩擦力補償信号を前記第1の信号に加算する加算手段と、前記加算結果として、前記位置誤差信号を微分して得られる速度信号から第2のヘッド位置決め機構の前記摩擦力補償信号を求める摩擦力補償信号生成手段と、前記第2の摩擦力補償信号を前記加算信号に加算する加算手段と、前記加算信号から第2の信号を生成する駆動信号生成手段を有することを特徴とするヘッド位置決め制御装置。

【請求項14】請求項13に記載の第2の摩擦力補償信号生成手段から得られるヘッド位置決め機構の前記摩擦力補償信号がヘッドとディスク間、またはヘッド駆動機構等で発生するクーロン摩擦力を補償する信号であることを特徴とする第2の摩擦力補償信号生成手段を備える位置決め制御装置。

【請求項15】ディスクにあらかじめ記録してある位置情報から、ヘッドにより目標位置とヘッドの位置に関する位置誤差信号を検出する位置誤差信号検出手段と、前記検出された位置誤差信号を位置決め補償手段に入力して位置決め補償のための第1の信号を生成し、前記第1の信号に基づいてヘッド位置決め機構を駆動するための第2の信号を生成する駆動信号生成手段を備え、前記第2の信号によってヘッドが前記目標位置へ移動されるように制御するヘッド位置決め制御装置において、前記位置誤差信号を入力としてハイパスフィルタの演算を行う演算手段と第2の信号を入力としてローパスフィルタの演算を行う演算手段と、前記ハイパスフィルタの演算から得られた信号と前記ローパスフィルタの演算から得られた信号を加算する加算手段と、前記加算結果を第1の摩擦力補償信号とし、前記信号を前記第1の信号に加算する加算手段と、前記加算手段の出力として、前記位置誤差信号と前記位置誤差信号を微分して得られる速度信号から第2のヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号を求める第2の摩擦力補償信号生成手段と、前記第2の摩擦力補償信号を前記生成した信号に加算する加算手段と、前記加算手段の出力から第2の信号を生成する駆動信号生成手段を有することを特徴とするヘッド位置決め制御装置。

【請求項16】請求項15に記載の第2の摩擦力補償信号生成手段から得られるヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号がヘッド位置決め機構の軸受部で発生する転がり出し摩擦力を補償する信号である第2の摩擦力補償手段を備えた位置決め制御装置。

装置。

【請求項16】請求項15に記載の第2の摩擦力補償信号生成手段から求められる第2のヘッド位置決め機構の摩擦力補償信号が、位置に比例するばね力と速度に比例する粘性摩擦力の和である摩擦力を補償する信号である第2の摩擦力補償信号生成手段を備える位置決め制御装置。

【請求項17】前記ディスクを磁気ディスクとする請求項1～16のいずれか一つに記載のヘッド位置決め制御装置。

【請求項18】前記ディスクを光ディスクとする請求項1～16のいずれか一つに記載のヘッド位置決め制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気ディスク装置や光ディスク装置のヘッドの位置決め方法ならびに前記方法を実施する装置に関し、特に磁気ヘッドを目標トラックに追従させる動作に関する。

【0002】

【従来の技術】磁気ディスク装置等のヘッドアクチュエータの位置決め機構には直動型と呼ばれるリニアアクチュエータと搖動型と呼ばれるロータリアクチュエータがあるが、いずれも転がり軸受で案内される。ヘッドの精密位置決めに対する要求は小型化、高記録密度化に伴って厳しくなっており、アクチュエータの微小位置変動によって生じる転がり軸受部で発生する非線形摩擦が問題となってきた。これに関しては吉川（東芝）らによるJ S M Eでの講演に詳しい（日本機械学会第72期通常総会講演論文集(IV) 19-20）。この現象はペアリング球、ころ等の転動体の微小回転領域で、転動体と軌道面の接触面の弾性変形等により摩擦力が変位に依存する領域（転がり出し摩擦領域）が存在することが原因となっている。転がり出し摩擦力と変位の関係は小泉ら（トライボロジスト35巻6号(1990)435-439）により転がり出し変位曲線として近似されている。転がり出し摩擦力はばね力と粘性摩擦力のような粘弾性体に支持されるような特性を示すため、アクチュエータ質量とばね定数、粘性摩擦係数で決まる固有振動数と減衰比を持つ2次系の特性を示し、固有振動数以下の領域ではゲインが一定となり位置決め精度を悪化させる。さらに変位に対する摩擦力の勾配は、変位が微小な場合ほど急になるという非線形性を持つため、変位が微小になるほど固有振動数が高く、減衰比が小さくなる。この傾向は小型化による質量低下と相乗して顕著になる傾向にあり、位置決め精度向上のためには摩擦力を補償することによる固有振動数以下の領域のゲインの回復が重要となる。

【0003】摩擦力を含む外力を補償する方法は、特開平3-30156号公報のようにディスク面に記録されたサーボ情報からヘッドの位置に関する情報を検出し、ヘッド 50

位置信号を得て。このヘッド位置信号とモータ駆動信号を入力とし、外力を一定と仮定して求めた力推定オブザーバよりなる外力推定手段により外力を補償する方法である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】小型化、高記録密度化が進む磁気ディスク装置で、軸受部での摩擦の発生は微小位置決め時における低域ゲインの不足による位置決め精度の低下を引き起す。したがって高記録密度磁気ディスク装置の実現のためには摩擦力の補償制御が必要となる。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、ディスクに記録されたサーボ信号からヘッドの位置に関する情報を検出し、目標位置とヘッド位置の誤差を小さくするために、ヘッド目標位置とヘッドの位置に関する情報の差分を位置誤差信号として位相補償器に入力し位置決め補償信号を得、この信号に後述する摩擦力補償信号を加算することによりヘッド駆動信号を得て、ヘッド位置を制御する。摩擦力補償信号生成には、ヘッドの位置誤差信号と前記ヘッド駆動信号を用いて、ヘッド駆動機構の摩擦力をヘッド変位に比例する弾性力とヘッド速度に比例する粘性摩擦力の和として求めた力推定オブザーバの演算を行うことにより、摩擦力補償信号を得る。得られた摩擦力補償信号は摩擦力のモデルを考慮しない場合よりも高精度な摩擦力補償が可能で、磁気ヘッドの目標トラック追従精度を高めることができる。

【0006】

【発明の実施の形態】本発明の第1の実施例を図1を用いて説明する。図1は本発明のヘッド位置決め制御を適用した磁気ディスク装置のブロック図である。ディスク1上にはサーボ信号が記録されており、ヘッド2で読み出されたサーボ信号はアンプ7で増幅され、復調回路8に送られる。復調回路8では、主位置誤差信号P E S N（図示せず）と90度位相の異なる副位置誤差信号P E S Q（図示せず）を作成し、これらの誤差信号からトラック番号に応じて極性の整った位置誤差信号21を作成し出力する。作成された位置誤差信号21はA D変換器12により一定のサンプリング間隔で補償信号生成手段

16に取り込まれる。また、トラック横断パルス発生回路18は、位置誤差信号26を受けて隣接するトラックの境界でトラック横断パルス22を発生する。また、ディファレンスカウンタ19は、トラック横断パルス22の数をカウントして目標トラックまでのデジタル残トラック数23を出力する。

【0007】コントローラ20が移動コマンド24を位置決め補償器16に発行すると、位置決め補償器16は位置決め補償信号25を出力する。この位置決め補償信号25の演算方法は、たとえばMEE & DANIEL “MAGNETIC RECORDING”， Vol. 2， McGraw-Hillの53-84頁

に記載のものがある。これは、位置誤差信号 2 6, ディジタル残トラック数 2 3, トラック横断パルス 2 2 を入力とし、ヘッド 2 が目標トラックの近くに到達するまでのシーク動作に対しては速度制御系により演算し、目標トラック近くになってからのフォロイング動作に対しては位置制御系により演算するもので、本実施例でもこの方法を用いるものとする。

【0008】 摩擦力を推定し補償する摩擦力推定器 1 5 は、位置誤差信号 2 6 と操作信号 3 1 を入力として演算を行い外力補償信号 3 0 を生成する。外力補償信号 3 0 と位置決め補償信号 2 5 を加算器 1 7 により加算することによって得られた操作信号 3 1 は DA コンバータ 1 4 によって駆動回路 5 に出力される。駆動回路 5 から出力された駆動電流 3 2 はボイスコイルモータ 4 に入力され、ヘッド 2 を駆動し所定の位置に位置決めする。以下に摩擦力推定器 1 5 で行われる演算について詳細に説明する。

【0009】 図 2 のブロック図は、図 1 の実施例のヘッド制御系を等価な機能ブロック図で示したもので、摩擦推定器 1 5 内のブロック図は離散時間系の伝達関数で記述されており、 z^{-1} は 1 サンプルの遅延を意味する演算*

$$G|p(s) = \frac{\frac{c}{j}s + \left(\frac{c + l_1 + k + l_2}{j} \right)}{s^2 + 2 \cdot \zeta \cdot \omega \cdot s + \omega^2} \quad \dots (数1)$$

【0012】

$$G|p(s) = \frac{1}{K_1 \cdot K_2} \cdot \frac{l_2 \cdot s^2 - k \cdot l_1 \cdot s}{s^2 + 2 \cdot \zeta \cdot \omega \cdot s + \omega^2} \quad \dots (数2)$$

【0013】 上式に対して例えば双 1 次変換法により s の多項式から z の多項式に置換すると、すなわちサンプリングタイムを T とおいて数 3 を数 1, 数 2 に代入し、※

$$s = \frac{2}{T} \frac{z-1}{z+1} \quad \dots (数3)$$

【0015】 数 4, 数 5 が得られる。

【0016】

$$G|p(z) = \frac{LB_1 + LB_2 \cdot z^{-1} + LB_3 \cdot z^{-2}}{1 - LA_2 \cdot z^{-1} - LA_3 \cdot z^{-2}} \quad \dots (数4)$$

【0017】

$$G|p(z) = \frac{HB_1 + HB_2 \cdot z^{-1} + HB_3 \cdot z^{-2}}{1 - HA_2 \cdot z^{-1} - HA_3 \cdot z^{-2}} \quad \dots (数5)$$

【0018】 数 4, 数 5 の分母, 分子の z の各項の係数が図 2 の各ブロックの係数に相当する。数 1, 数 2 のどおよび ω はオブザーバの推定の速さ、および減衰比を表☆

$$l_1 = 2 \cdot \zeta \cdot \omega - \frac{c}{m} \quad \dots (数6)$$

【0020】

$$l_2 = m \cdot \omega^2 - k - 2 \cdot \zeta \cdot c \cdot \omega + \frac{c}{m} \quad \dots (数7)$$

【数7】

【数7】

* 子である。その他の構成要素は、連続時間系の伝達関数として表現されており、ラプラス演算子を s で、ヘッド 2 を搭載したアクチュエータのピボット軸回りの慣性モーメントを J で、駆動回路 5 のゲインを $K_a (A/V)$ で、ボイスコイルモータ 4 のゲインを $K_t (N \cdot m/A)$ で、回転角速度を $\omega (\text{rad}/\text{s})$ で、回転角度を $\theta (\text{rad})$ で、ピボット軸からヘッドまでの回転半径を $r (\text{m})$ で、ヘッド位置からヘッド位置信号までのゲインを $K_p (\text{V}/\text{m})$ で、AD 変換器 1 2 のゲインを $g_{adp} (\text{count}/\text{V})$ で、DA 変換器 1 4 のゲインを $g_{da} (\text{V}/\text{count})$ として表している。転がり出し摩擦力の作用するモデルを F_c で表している。ヘッド位置信号 2 1 はヘッド位置 x にトラック位置変動 (ランアウト) D 1 が加算され、 K_p 倍された信号として得られる。

【0010】 次に離散補償器の係数 $LA_2, LA_3, LB_1, LB_2, LB_3, HA_2, HA_3, HB_1, HB_2, HB_3$ 計算について述べる。ここで $K_1 = g_{da} * k_a * k_t, K_2 = K_s * g_{adp}$ とする。

【0011】

【数1】

【数2】

【0014】

【数3】

【数3】

★ 【数4】

★

【0019】

【数6】

【数6】

【0021】 k および c は転がり出し摩擦力を粘弾性力で仮定したときのばね定数および粘性摩擦係数であり、機構系の周波数特性を測定することによって求められる固有振動数 ω_p と減衰比 ζ_p から $c = 2 \cdot J \cdot \zeta_p \cdot \omega_p$, $k = J \cdot \omega_p^2$ により求める。

【0022】次に、フォロイニング制御の演算を図2のブロック図と図3のフローチャートに基づいて説明する。特に、摩擦力推定器における外力補償信号の演算に関して詳細に説明し、位置決め補償器内の演算について説明しない。

【0023】STEP100：サンプル（ k サンプリング時点）した位置誤差信号 $21Y1(k)$ から位置決め補償信号 $25V(k)$ を計算する。

【0024】STEP101： $V(k)$ と 1 サンプル前の外力補償信号 $30W(k-1)$ から操作信号 $31U(k)$ の計算を行う。

【0025】STEP102：DAコンバータ $1\sim4$ により駆動回路に操作信号 31 を出力する。

【0026】STEP103： k サンプリング時点の位置誤差信号 $26Y1(k)$ にゲイン $HB1$ を乗じて、 $HPX1(k)$ を加算し $HPX(k)$ を得る。

【0027】STEP104：操作信号 $31U(k)$ にゲイン $LB1$ を乗じて、 $LPX1(k)$ を加算し $LPX(k)$ を得る。

【0028】STEP105： $HPX(k)$ と $LPX(k)$ を加算して外力補償信号 $30W(k)$ を得る。

【0029】STEP106： $Y1(k)$ に $HB2$ を乗じた結果に $HPX(k)$ に $HA2$ を乗じた結果を加算し、さらに $HPX2(k)$ を加算することにより $HPX1(k+1)$ を得る。

【0030】STEP107： $Y1(k)$ に $HB3$ を乗じた結果に $HPX(k)$ に $HA3$ を乗じた結果を加算することにより $HPX2(k+1)$ を得る。

【0031】STEP108： $U(k)$ に $LB2$ を乗じた結果に $LPX(k)$ に $LA2$ を乗じた結果を加算し、さらに $LPX2(k)$ を加算することにより $LPX1(k+1)$ を得る。

【0032】STEP109： $U(k)$ に $LB3$ を乗じた結果に $LPX(k)$ に $LA3$ を乗じた結果を加算することにより $LPX2(k+1)$ を得る。

【0033】以上が k サンプリング時点における磁気ディスクフォロイニング制御器の計算アルゴリズムである。

【0034】次に、外力補償信号 W の推定演算の実行について説明する。 W の演算と補償動作はヘッドの移動前から常に行っているのが望ましいが、ヘッドの移動開始から W の推定を行うには、移動の伴う全トラック上へのヘッド位置を推定できるような、演算語長の長い CPU か浮動小数点演算を行う CPU が必要となり、CPU は高価なものとなる。そこで、固定小数点演算を行う安価な CPU でも、目標トラックのデータのリードライト中

の外乱や振動を抑制する方法として、目標トラックの数トラック前から推定手段を動作させ、さらにデータを読み書きする前に補正手段を動作させる方法がある。例えば、目標トラックの 1 トラック前から推定手段を動作させ、目標トラックの 4 分の 1 トラック手前から補正動作を行うと、推定手段の演算レンジは 1 トラック分を演算するだけなので、安価な固定小数点 CPU でも十分な性能を引き出せる。特に軸受部の転がり出し摩擦力は運動の方向が変わってから、数 μm の間で摩擦力が変化する現象であるから、シーク中は一方向の運動であるため摩擦力が一定であり、シークからフォロイニングに移行する時点から補償を開始することは有効である。

【0035】ここで、以上の計算アルゴリズムを磁気ディスクフォロイニング制御系に適用した場合、どのような効果が得られるかを、図2中のCに加振信号を与えたときのAからBまでの開ループの周波数応答に基づいて示す。ここでAからBまでの開ループ周波数特性はシーク時のような目標位置に関する命令 24 が発行されたときの追従特性を示す。図4は転がり出し摩擦力が存在する場合の磁気ディスク機構系の周波数特性（メカ特性）で、図2で摩擦力推定器がない場合のUからXまでの特性である。それぞれのメカ特性は加振振幅を $0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 \mu m$ と変えて求めている。加振振幅が小さいほど制御対象の固有振動数が高く減衰が小さくなっていることがわかる。この制御対象に対して摩擦推定オブザーバをオブザーバの極 $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 200, \zeta = 4$ 、制御対象の特性は $0.2 \mu m$ 加振時の対象に合わせて、 $\omega_p = 2 \cdot \pi \cdot 90, \zeta_p = 0.3$ で設計した。また位置決め補償器は比例要素と安定性を確保する微分要素から構成し、ゼロクロス周波数 $550 Hz$ として設計した。サンプリングタイムは $50 \mu s$ とした。このとき、AからBまでの開ループを求めるとき図6のようになる。これによれば、全体として転がり出し摩擦による低域ゲインの損失は回復し、固有振動数のピークもなくなっている。オブザーバの効果は 0.2 から $1.0 \mu m$ の範囲では低域ゲインが $40 dB/dec$ で回復しており、摩擦のない $1/s^2$ の特性となっている。 $0.1 \mu m$ 以下では、その効果が徐々に減じているが、固有振動数と思われるピークは現れていない。またゼロクロス周波数は設計値通り $550 Hz$ となっている。

【0036】本発明の第2の実施例を図7を用いて説明する。図7は第2の実施例のヘッド制御系を等価な機能ブロック図で示したものである。第1の実施例に運動方向検出器 62 と非線形摩擦モデル 63 、加算器 64 を新たに追加した構成となっている。運動方向検出器 62 では、今回サンプリングの $Y1(k)$ から前回サンプリングの $Y1(k-1)$ の差分 $\Delta Y1(k) = Y1(k) - Y1(k-1)$ を計算し、その符号を出力する。非線形摩擦モデル 63 では $Y1(k)$ と $sign(\Delta Y1(k))$ を用いて以下の式を計算することにより摩擦力推定値 f を求める。

【0037】

$$z = | Y_1(k) - Y_1' |$$

【0038】

$$\begin{aligned} f_* &= a_* + b_* \cdot z + c_* \cdot z^2 + d_* \cdot z^3 - f'_* & (f_* < f_{**}) \\ &= f_{**} & (f_* > f_{**}) \end{aligned}$$

数8、数9で Y_1' は運動方向が反転する直前の Y_1 の値、 z は運動方向が反転してからの移動距離、 f'_* は運動方向が反転したときの f_* の絶対値、 f_{**} はころがり摩擦力の最大値である。 f_* の符号は $\text{sign}(\Delta Y_1(k-1)) < 0$ から $\text{sign}(\Delta Y_1(k)) \geq 0$ となった時点10で負、 $\text{sign}(\Delta Y_1(k-1)) > 0$ から $\text{sign}(\Delta Y_1(k)) \leq 0$ となった時点で正とする。数9の係数 a_* 、 b_* 、 c_* 、 d_* は、変位と力の関係を求めた実験結果に基づいて*

```

STEP120 : sign(\Delta Y_1(k)) = sign(Y_1(k) - Y_1(k-1)) を計算
STEP121 : if sign(\Delta Y_1(k)) * sign(\Delta Y_1(k-1)) \leq 0 then Y_1'
          = Y_1(k-1), f'_* = f_*(k-1)
STEP122 : if sign(\Delta Y_1(k)) * sign(\Delta Y_1(k-1)) \leq 0 and
          sign(\Delta Y_1(k-1)) < 0 then sign f_* < 0
          else if sign(\Delta Y_1(k)) * sign(\Delta Y_1(k-1)) \leq 0 and
          sign(\Delta Y_1(k-1)) > 0 then sign f_* > 0
STEP123 : 数8を演算
STEP124 : 数9を演算
STEP125 : f_*(k) = sign f_* * f_* / (gda * K_a * K_t)
STEP126 : f_*(k)を操作信号U(k)に加算し新たなU(k)を得る。

```

【0040】以上が k サンプリング時点の演算アルゴリズムである。

【0041】本発明の第3の実施例を図8を用いて説明する。図8は第3の実施例のヘッド制御系を等価な機能ブロック図で示したものである。第1の実施例に運動方向検出器62と非線形摩擦モデル63、加算器64を新たに追加した構成となっている。運動方向検出器62では、今回サンプリングの $Y_1(k)$ から前回サンプリング※

$$f_* = -1 \cdot \text{sign}(\Delta Y_1(k)) \cdot T_c$$

数10で T_c はクーロン摩擦力の絶対値である。オブザーバの離散補償器の係数は第1の実施例の数1から数7で、 $c = k = 0$ の条件で設計したものを用いる。 f_* の推定を含む本実施例のアルゴリズムは、第1の実施例の★

STEP130 : sign(\Delta Y_1(k)) = sign(Y_1(k) - Y_1(k-1)) を計算

STEP131 : 数10を演算

STEP132 : f_*(k) = f_* / (gda * K_a * K_t)

STEP133 : f_*(k)を操作信号U(k)に加算し新たな操作信号U(k)を得る。

【0044】以上が k サンプリング時点の演算アルゴリズムである。

【0045】本発明の第4の実施例を図9を用いて説明する。図9は第4の実施例のヘッド制御系を等価な機能ブロック図で示したものである。第1の実施例に微分器65と摩擦モデル66、加算器64を新たに追加した構成となっている。微分器65では、今回サンプリングの★

$$f_* = -k \cdot Y_1(k) + c \cdot V_h(k)$$

オブザーバの離散補償器の係数は第1の実施例の数1か

【数8】

… (数8)

【数9】

(f_* < f_{**})

(f_* > f_{**}) … (数9)

* 最少二乗法等を用いて決定すればよい。またオブザーバの離散補償器の係数は第1の実施例の数1から数7で $c = k = 0$ の条件で設計したものを用いる。本実施例のアルゴリズムは、第1の実施例の演算アルゴリズムのSTEP101とSTEP102の間に以下のSTEPを挿入することによって完成される。

【0039】

STEP120 : sign(\Delta Y_1(k)) = sign(Y_1(k) - Y_1(k-1)) を計算
STEP121 : if sign(\Delta Y_1(k)) * sign(\Delta Y_1(k-1)) \leq 0 then Y_1'
 = Y_1(k-1), f'_* = f_*(k-1)
STEP122 : if sign(\Delta Y_1(k)) * sign(\Delta Y_1(k-1)) \leq 0 and
 sign(\Delta Y_1(k-1)) < 0 then sign f_* < 0
 else if sign(\Delta Y_1(k)) * sign(\Delta Y_1(k-1)) \leq 0 and
 sign(\Delta Y_1(k-1)) > 0 then sign f_* > 0
STEP123 : 数8を演算
STEP124 : 数9を演算
STEP125 : f_*(k) = sign f_* * f_* / (gda * K_a * K_t)
STEP126 : f_*(k)を操作信号U(k)に加算し新たなU(k)を得る。

※の $Y_1(k-1)$ の差分 $\Delta Y_1(k) = Y_1(k) - Y_1(k-1)$ を計算し、その符号を出力する。非線形摩擦モデル63では $\text{sign}(\Delta Y_1(k))$ の値に応じてクーロン摩擦力の推定値 f_* を出力する。 f_* は下式のように定める。

【0042】

【数10】

… (数10)

★ 演算アルゴリズムのSTEP101とSTEP102の間に以下のSTEPを挿入することによって完成される。

【0043】

★ $Y_1(k)$ から前回サンプリングの $Y_1(k-1)$ の差分 $\Delta Y_1(k) = Y_1(k) - Y_1(k-1)$ を計算し、サンプリングタイムで割ることにより後退差分法で速度信号 $V_h(k)$ を求める。摩擦モデル66では粘性摩擦係数を c 、ばね定数を k として f_* を数11により計算する。

【0046】

【数11】

… (数11)

ら数7で $c = k = 0$ の条件で設計したものを用いる。 f_*

の推定を含む本実施例のアルゴリズムは、第1の実施例の演算アルゴリズムのSTEP101とSTEP102の間に以下の*

STEP140 : $V_h(k) = (Y_1(k) - Y_1(k-1)) / T_s$ を計算 (T_s はサンプリングタイム)

STEP141 : 数10を演算

STEP142 : $f_r(k) = f_r / (gda \cdot K_a \cdot K_t)$

STEP143 : $f_r(k)$ を操作信号 $U(k)$ に加算し新たな操作信号 $U(k)$ を得る。

【0048】

【発明の効果】本発明によれば、ディスクに記録されたサーボ信号からヘッドの位置に関する情報を検出し、ヘッドの位置に関する情報とヘッド駆動信号を用いて、摩擦力のモデルから導かれる力推定オブザーバの演算を行うことにより摩擦力の補償が可能となり、位置決め精度が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一実施例のブロック図。

【図2】第一実施例の機能のブロック図。

【図3】摩擦力推定器15の演算のフローチャート。※

* STEPを挿入することによって完成される。
【0047】

STEP140 : $V_h(k) = (Y_1(k) - Y_1(k-1)) / T_s$ を計算 (T_s はサンプリングタイム)

STEP141 : 数10を演算

STEP142 : $f_r(k) = f_r / (gda \cdot K_a \cdot K_t)$

STEP143 : $f_r(k)$ を操作信号 $U(k)$ に加算し新たな操作信号 $U(k)$ を得る。

※ 【図4】転がり出し摩擦があるときの制御対象の周波数の特性図。

10 【図5】本制御アルゴリズムを用いたときの開ループ周波数の特性図。

【図6】本発明の第二実施例のブロック図。

【図7】第二実施例の機能のブロック図。

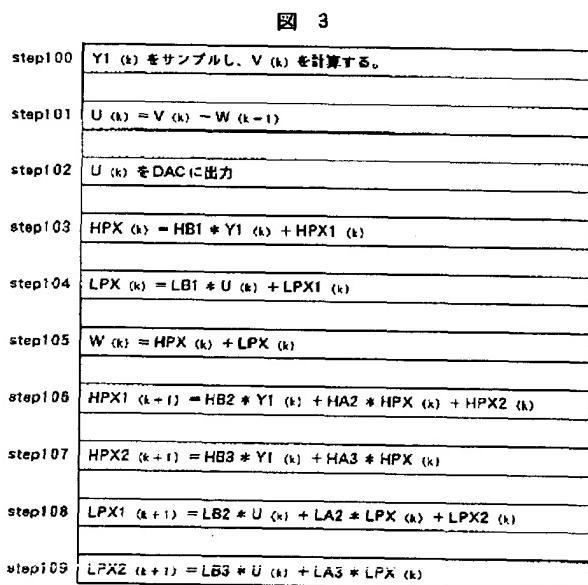
【図8】第三実施例の機能のブロック図。

【図9】第四実施例の機能のブロック図。

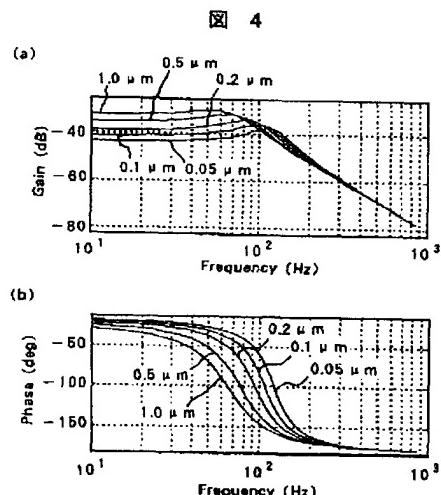
【符号の説明】

1…ディスク、2…ヘッド、7…アンプ、12…AD
C、20…コントローラ。

【図3】

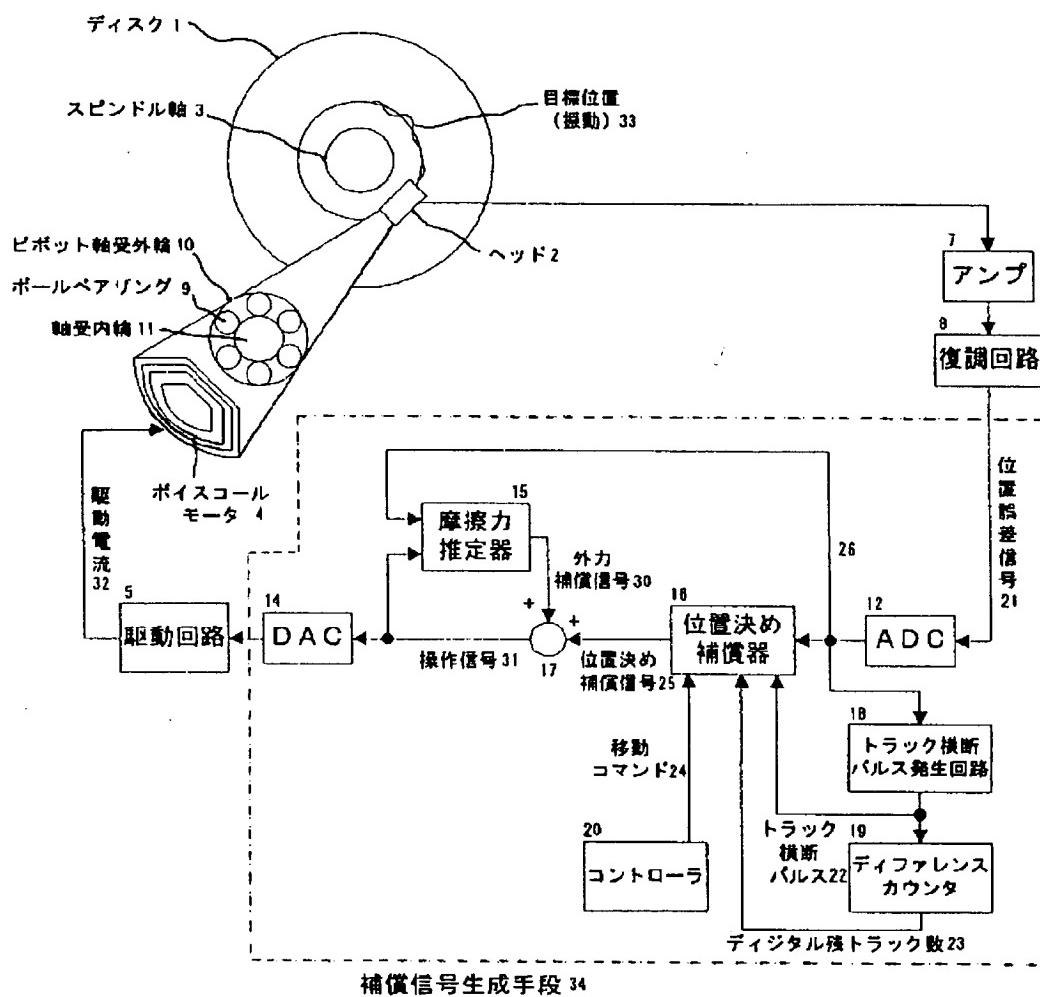


【図4】



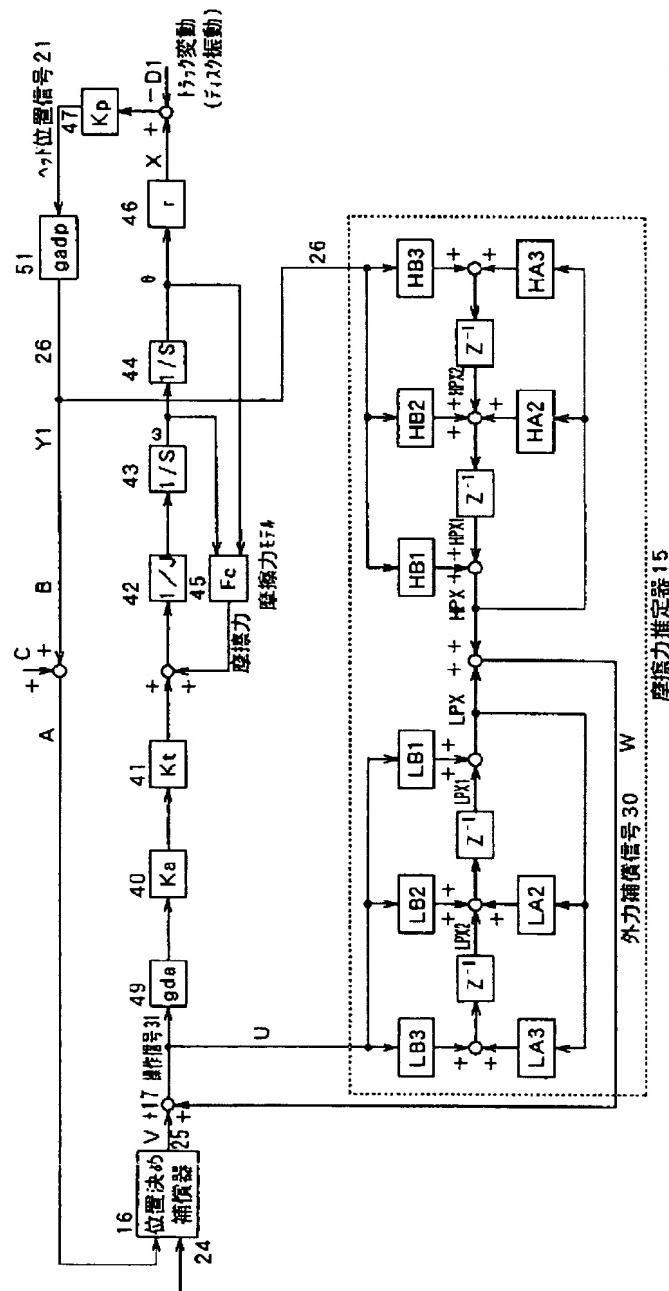
【図1】

図 1



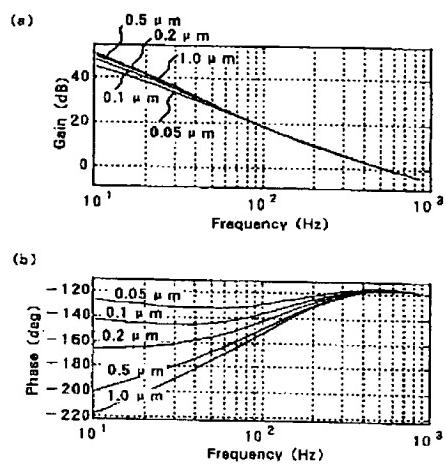
【図2】

図 2



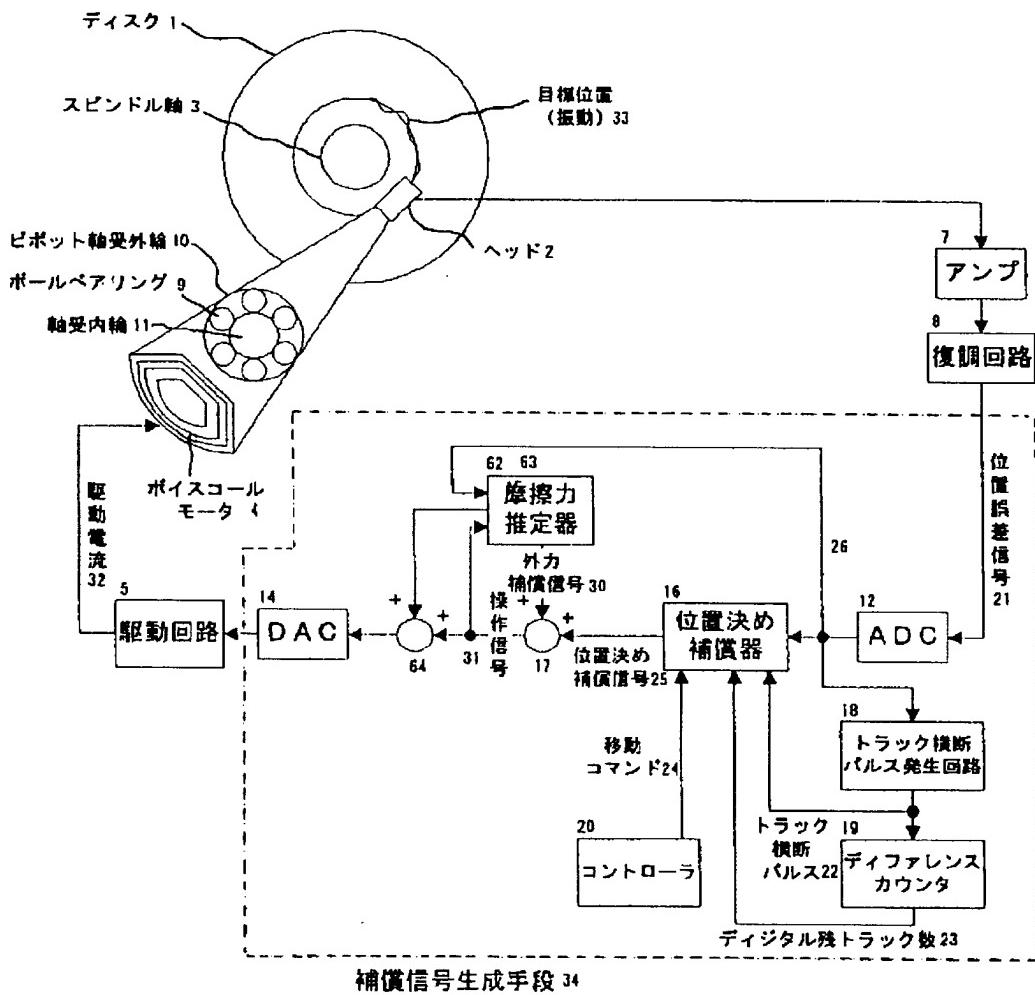
【図5】

図5



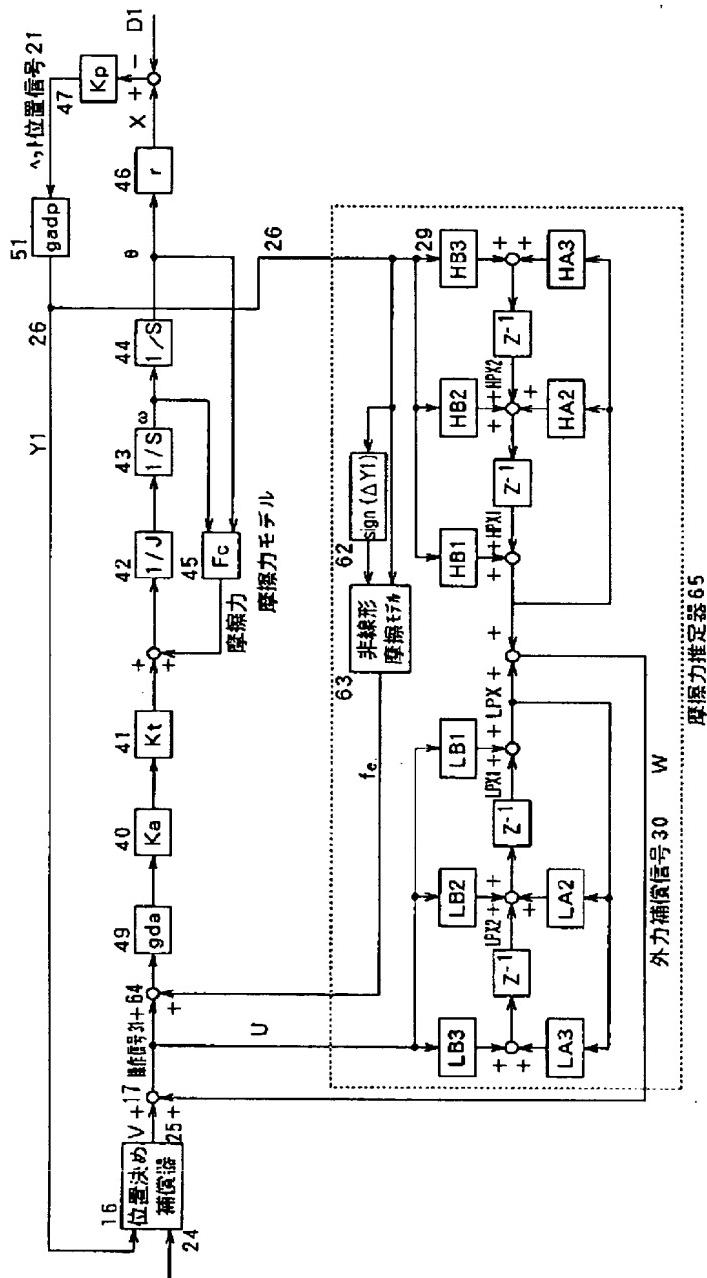
【図6】

図 6



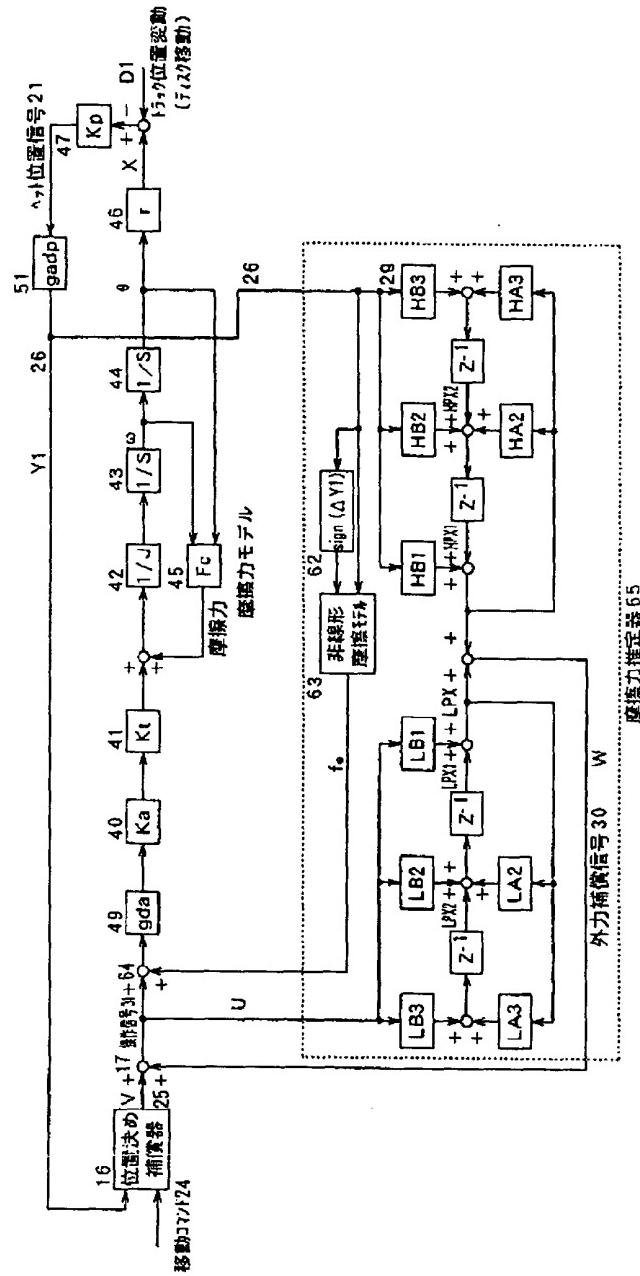
【図7】

7



【図8】

8



【图9】

9

